Modelización bidimensional de avenidas producidas por rotura instantánea de un dique de una balsa de laminación en zona periurbana

Beniamino Russo[1], Xavier Martínez[2], Enrique Bonet[3], Pere Malgrat[4], Francisco Cañedo[5]

[1]Profesor Titular de Escuela Universitaria, EUPLA (Univ. de Zaragoza), brusso@unizar.es

[2]Ingeniero de Caminos de Clavegueram de Barcelona S. A. (CLABSA), XavierM@clabsa.es

[3]Ingeniero Geólogo de Clavegueram de Barcelona S. A. (CLABSA), Enric.Bonet@clabsa.es

[4]Director Técnico de Clavegueram de Barcelona S. A. (CLABSA), pere@clabsa.es

[5]Jefe del Servicio de Estudios, Proyectos y Obras, D. S. del Ciclo Integral del Agua de la Entidad Metropolitana del Medio Ambiente de Barcelona canedo@amb.cat

1 Introducción

1.1 Enfoque del problema

El cálculo en régimen variable en una y dos dimensiones es siempre más frecuente debido, por un lado, al avance científico en temas de modelización numérica y, por el otro, a la existencia de ordenadores cada vez más potentes y a la siempre mayor disponibilidad de información cartográfica detallada. Todo eso, en el estado actual, permite abordar con mayor detalle la solución de uno de los temas más importantes de la dinámica fluvial: la evaluación del riesgo asociado a inundaciones producidas por el tránsito de una avenida.

Es muy habitual, hoy en día, que Administraciones Públicas exijan un estudio hidráulico detallado de las llanuras de inundación de un río o una riera en caso de avenidas, debido al alto grado de urbanización que muchas veces estas áreas han sufrido en el curso de los años. La morfología fluvial de las llanuras de inundación (presencia de vegetación, ausencia de encauzamientos, etc.) y la presencia de estructuras complejas en medio urbano (mobiliario urbano, edificios, infraestructuras viarias, etc.), hacen que la caracterización hidráulica de estas zonas en caso de crecidas del río sea muy complicada y cuya solución detallada sea abordable sólo a través de una modelización bidimensional de la propagación del flujo.

En este trabajo se presenta un estudio sobre la modelización bidimensional de unas avenidas producidas por la rotura inmediata del dique de gravedad de una balsa en zona periurbana y el análisis del riesgo hidráulico potencial asociado a las zonas inundables. El estudio nace de la exigencia de evaluar, de la forma más detallada posible, la peligrosidad de la posible rotura del dique de cierre de una balsa diseñada por Clavegueram de Barcelona S.A. (CLABSA) por encargo de la Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamientos de Residuos de Barcelona (EMSHTR), y situada pocos kilómetros aguas arriba de un núcleo urbano en la zona del Baix Llobregat.

La modelización ha sido desarrollada a través de la nueva versión (v.10) del código Infoworks River System (Infoworks RS) de Wallingford Software (2009) y en particular utilizando el nuevo módulo de simulación 2D basado en información digital del terreno y en la utilización de un método de volúmenes finitos que trabaja sobre una discretización del terreno en mallas triangulares de densidad variable. El código dispone de un motor de cálculo hidráulico (1D y 2D) y de un Sistema de Información Geográfico (SIG) integrado que, en este trabajo, ha sido utilizado también para la creación de los Modelos Digitales del Terreno (MDT) empleados en la simulación La buena flexibilidad del código ha permitido simular, a parte de la rotura instantánea del dique, también algunas obras singulares como por ejemplo una obra de drenaje transversal de la línea ferroviaria de cercanías y una obra de captación presentes en el dominio analizado.

2 Marco legislativo asociado a la rotura de presas

2.1 Directriz Básica de Planificación de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones

El 14 de Febrero de 1995 se publica, en el Boletín Oficial del Estado, la "Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones", aprobada por Acuerdo del Consejo de Ministros del día 9 de diciembre de 1994. La Directriz, en su artículo 3.5.1.3 establece la obligatoriedad de clasificar las presas en categorías en función del riesgo potencial que puede derivarse de su rotura o funcionamiento incorrecto. De acuerdo con lo indicado en el citado artículo 3.5.1.3, la clasificación se efectuará mediante Resolución de la Dirección General de Obras Hidráulicas o de los órganos de las Comunidades Autónomas que ejerzan competencias sobre el dominio público hidráulico, para aquellas presas que se ubiquen en cuencas hidrográficas comprendidas íntegramente dentro de su territorio.

2.2 Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses

Por otra parte, en la Orden Ministerial del 12 de marzo de 1996, por la que se aprueba el "Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses", publicada en el Boletín Oficial del Estado de fecha 30 de marzo de 1996, en su artículo quinto establece que los titulares o concesionarios de todas las presas en servicio, independientemente de su titularidad dentro del ámbito de competencias del Estado, deben presentar a la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, la propuesta razonada de clasificación frente al riesgo en los términos previstos por la Directriz Básica, debiendo resolver la Dirección General en un plazo máximo de un año. A partir del momento de la resolución, el concesionario dispondrá de un período de 2 años para la redacción de los Planes de Emergencia si la categoría de la presa es A y de 4 años si la categoría de la presa es B.

2.3 Guía Técnica para la Clasificación de Presas en Función del Riesgo Potencial

Siempre en el año 1996, para facilitar los criterios de clasificación, los procedimientos y las metodologías a emplear en el estudio del riesgo potencial asociado a la rotura de presas, el área de Tecnología y Control de Estructuras de la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas del Ministerio de Medio Ambiente, redacta la Guía Técnica para la Clasificación de Presas en Función del Riesgo Potencial. La redacción de la Guía Técnica, hace que hoy en día, todos los estudios sobre rotura de presas y propuestas de clasificación se preparen y se dictan de manera homogénea y coordinada.

3 Metodología

3.1 Datos generales de la balsa de laminación analizada

La balsa analizada, cuyos datos básicos de presentan a continuación, tiene la función de laminar los caudales de escorrentía procedentes de la cuenca aguas arriba y prevenir inundaciones en la zona urbanizada aguas abajo.

Tabla 1 Datos generales del dique de cierre de la balsa y del embalse

Tipología del dique	Gravedad	Cota de cimentación:	73.50 msnm	Altura máxima del dique	10.5 m
Talud interior:	1,0 H : 10,0 V	Cota de coronación:	83 msnm	Cota máxima de embalse	81.0 msnm
Talud exterior:	1,0 H : 1,0 V	Cota del aliviadero	81 msnm	Volumen total embalsado	69.000 m^3

3.2 Avenidas analizadas

La balsa analizada se ha diseñado considerando una avenida con un período de retorno de 100 años y un caudal punta de 58.4 m^3/s. Para esta avenida la balsa se llena hasta la cota del aliviadero sin que entre en funcionamiento la estructura de desagüe superior del dique cuya localización y geometría se representas en las figuras a continuación. El aliviadero, con geometría rectangular, presenta una longitud de 15 metros y su cresta se encuentra a la cota de 81.00 m.

La normativa habla también de "avenida extrema". En este estudio se ha considerado, como avenida extrema, la avenida con periodo de retorno de 500 años. El caudal punta de la avenida con periodo de retorno de 500 años es 71,0 m^3/s.

Para la clasificación de la balsa, de acuerdo con la normativa y la Guía Técnica "Clasificación e presas en función del riesgo potencial", hay que plantear los siguientes escenarios de rotura:

Rotura sin avenida: no coincidencia con avenida y embalse en su máximo nivel de explotación.

Rotura en situación de avenida: balsa desaguando la avenida de proyecto (en su caso la avenida extrema) y nivel del embalse en la coronación.

Además, la normativa añade que para el escenario correspondiente a rotura en situación de avenida únicamente deben considerarse los daños incrementales debidos a la rotura, es decir, el exceso de daños que se producirían por efecto de la onda de rotura respecto a los que ya se hubieran producido debido al desagüe de la avenida considerada.

Por todo eso se han considerado diferentes simulaciones de posibles escenarios, algunos directamente asociados a los requisitos de la normativa, y otros más decididos en común acuerdo entre CLABSA y la EMSHTR (simulaciones de la situación actual y de rotura con embalse vacío para avenidas de diseño con periodo de retorno de 100 y 500 años).

A continuación se representa una tabla de resumen con todas las simulaciones desarrolladas y algunos datos significativos (Tabla 2).

Tabla 2 Cuadro de resumen de los escenarios simulados

Simulación / Escenario	Breve descripción	Evento	Características del modelo
A	Situación actual	T=100 años	MDT Diagnosis
B	Situación actual	T=500 años	MDT Diagnosis
C	Rotura (81.00 m)	T=100 años	MDT Prognosis (con vaso y dique)
D	Rotura (81.00 m)	T=500 años	MDT Prognosis (con vaso y dique)
E	Rotura (81.00 m)	Evento de llenado	MDT Prognosis (con vaso y dique)
F	Sin rotura	Evento de llenado + T=500 años	MDT Prognosis (con vaso y dique)
G	Rotura (82.00 m)	Evento de llenado + T=500 años	MDT Prognosis (con vaso y dique)

El evento de llenado ha sido elaborado artificialmente considerando una avenida con un caudal constante de 150 m^3/s durante un intervalo de tiempo de aproximadamente 8 minutos. En este caso el volumen entrante al embalse es algo superior a la capacidad de diseño del vaso (los 69.000 m^3), así que en correspondencia del último minuto de la avenida de llenado se alcanza la cota de 81.00 m que es la cota a la cual se produce la rotura en la simulación E. La simulación E corresponde al escenario 1 propuesto por la normativa (Rotura con embalse lleno hasta el nivel máximo de explotación sin avenida).

La cota de rotura de 82.00 m, asociada a la simulación G correspondiente a la simulación 2 propuesta por la normativa, se ha calculado a través de la simulación F, en la cual se ha simulado el comportamiento de la balsa sin rotura del dique. En este caso, como muestra la Figura 1, la lámina de agua alcanza el valor máximo de 82.0 m. Este valor ha sido considerado como valor límite de la cota de la lámina de agua a la cual se produce la rotura en el escenario G. Todos los hidrogramas utilizados en las simulaciones se presentan en las siguientes figuras.

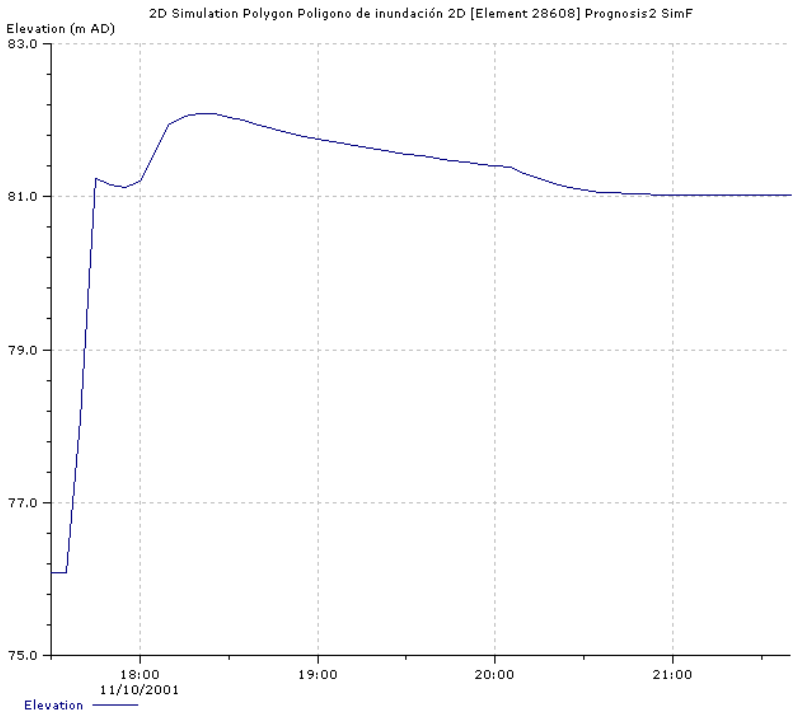

Figura 1 Evolución de la lámina de agua para el escenario G (funcionamiento de la balsa sin rotura frente a un evento de periodo de retorno de 5000 años y embalse lleno). La cota máxima alcanzada por la lámina de agua es de 82 msnm

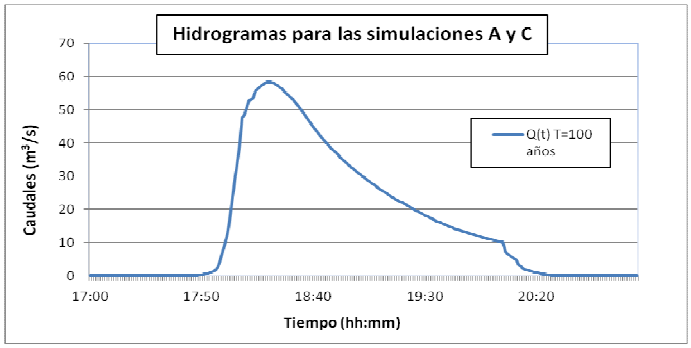

Figura 2 Hidrograma de la avenida con periodo de retorno de 100 años utilizado en las simulaciones A y C.

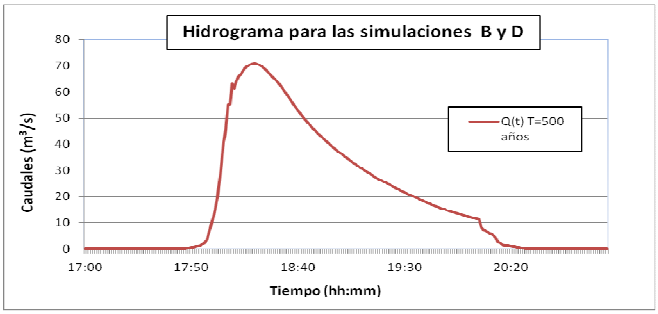

Figura 3 *Hidrograma de la avenida con periodo de retorno de 500 años utilizado en las simulaciones B y D*

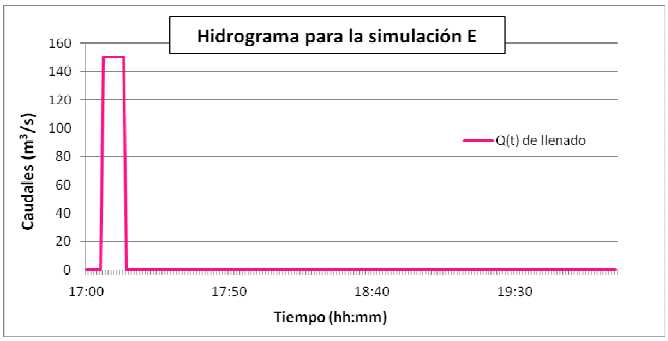

Figura 4 *Hidrograma sintético de llenado utilizado en la simulación E*

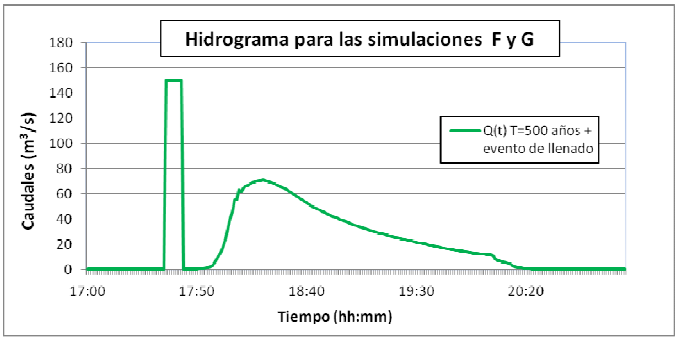

Figura 5 *Hidrograma sintético de llenado e hidrograma de la avenida con periodo de retorno utilizados en la simulación G para la comparación de daños considerando escenario de rotura y de buen funcionamiento*

3.3 Justificación del estudio y aspectos a resaltar en el análisis de rotura

La balsa de laminación recoge las aguas circulantes por una riera efímera actualmente no encauzada en su tramo superior e intermedio, que recoge la escorrentía producida en la cuenca de estudio durante episodios de lluvia. Debido a la morfología de la cuenca, y en particular, a las elevadas pendientes longitudinales, la respuesta hidrológica de la cuenca es extremadamente rápida. Todo eso produce, como se puede observar en las figuras anteriores, hidrogramas con ramas ascendentes muy empinadas, lo cual, en la práctica, se traduce en altos caudales de punta y bajos tiempos de pico.

Durante episodios de lluvias extremos, y sobre todo muy intensos, la escorrentía producida se propaga hasta el cauce de la riera y escurre hasta llegar al núcleo urbano con calados y velocidades que pueden suponer un cierto grado de riesgo para la circulación vehicular y peatonal y para el normal desarrollo de las actividades urbanas.

Para hacer frente a esta problemática, a lo largo de la riera se han realizado algunas obras de captación que permiten desaguar en la red de drenaje urbana parte de la escorrentía circulante por la riera. En particular hay que mencionar una estructura de captación aguas debajo de la balsa que presenta un aliviadero con labio de 25 m, y un área de 60 m^2 aproximadamente. Cabe destacar también, que datos de la Agencia Catalana de l'Aigua fijan la capacidad residual de la red de alcantarillado en el punto de captación de la riera en 55 m^3/s. Esta estructura de captación, con sus limitaciones, se ha tenido en cuenta en el modelo creado a través de la creación de orificios conectando diferentes celdas del dominio analizado. La misma estructura se representa en la figura a continuación (Figura 6). Como se puede observar la estructura de captación ocupa buena parte de la sección de la riera y, además, se encuentra en un punto bajo de la misma. El tramo de carretera antes de la estructura presenta un peralte para canalizar gran parte del caudal de escorrentía en la cuneta del borde izquierdo de la riera y facilitar su entrada en el recinto de la obra de captación. Siempre a través de un orificio se ha representado una obra de drenaje transversal de la línea ferroviaria situada a la entrada del núcleo urbano.

Figura 6 *Estructura de captación aguas debajo de la balsa*

3.4 Software utilizado y modelización numérica

El software utilizado para el estudio del comportamiento hidráulico de la riera en los varios escenarios propuestos, ha sido la versión 10 de Infoworks RS (River System) de le empresa Wallingford Software.

Infoworks RS es un programa integrado para la simulación de caudales en ríos, en canales y en llanuras de inundación. De hecho permite combinar dentro de un mismo entorno el cálculo hidráulico, el análisis geográfico y una base de datos asociada a todos los elementos del sistema.

De extremo interés para el objetivo de este estudio, resulta la buena capacidad del código de crear mapas de inundación. La elaboración de estos mapas se basa en un sistema de interpolación del modelo de inundación sobre el modelo digital terrestre importado o creado sobre la base de información cartográfica.

Para el cálculo de la simulación hidráulica, Infoworks RS utiliza el motor de simulación de "ISIS" que durante años ha sido el producto estrella de la Wallingford Software para la simulación de tránsitos de avenidas en cauces naturales y el estudio de las láminas de aguas en canales abiertos. En este sentido representa un producto similar al más conocido HEC-RAS de dominio público, aunque luego englobe el módulo de cálculo 2D, un Sistema de Información Geográfico propio y varias facilidades para una adecuada representación de los resultados.

Infoworks RS 10.0 ha permitido desarrollar simulaciones en régimen no permanente y resolver las ecuaciones de Saint Venant usando el método de Preissman de 4 puntos que es estable en un amplio rango de condiciones del

flujo. El código, como ya anteriormente evidenciado, permite también la modelización de estructuras peculiares como compuertas, puentes, bombeos, tubos, y orificios. A nivel hidráulico puede desarrollar la simulación de flujos supercríticos, tanto en régimen permanente como en no permanente y además permite modelizar canales complejos, llanuras de inundación, incluyendo canales dendríticos, ramificados y en bucles, y áreas de inundación protegidas por diques y finalmente la rotura de diques y presas.

Para el cálculo del flujo en 2D, Infoworks RS 10.0 utiliza las expresiones completas de Saint Venant que pueden presentarse en forma de matrices y cuya resolución es posible siempre mediante el uso de soluciones numéricas:

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \nabla \cdot \left(\mathbf{F} + \mathbf{G}\right) = \mathbf{S} \tag{1}$$

donde:

$$\mathbf{U} = \begin{pmatrix} h \\ hu \\ hv \end{pmatrix}, \quad \mathbf{F} = \begin{pmatrix} hu \\ hu^2 + \frac{1}{2}gh^2 \\ huv \end{pmatrix}, \quad \mathbf{G} = \begin{pmatrix} hv \\ huv \\ hv^2 + \frac{1}{2}gh^2 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{S} = \begin{pmatrix} q_{rain} - q_{drain} \\ gh\left(S_{0x} - S_{fx}\right) \\ gh\left(S_{0y} - S_{fy}\right) \end{pmatrix} \tag{2}$$

x e y son las coordenadas horizontales

u y v son las velocidades medias en vertical en las direcciones x e y

g es la aceleración de la gravedad

q_{rain} es el caudal lateral de aportación a una celda (por ejemplo el caudal debido a la lluvia)

q_{drain} es el caudal específico absorbido por una celda (por ejemplo captado por un imbornal o un orificio)

S_{0x} y S_{0y} son las pendientes físicas en las direcciones x e y

S_{fx} y S_{fy} son las pendientes motrices en las direcciones x e y, que pueden ser calculadas a través de las fórmulas de Strickler:

$$S_{fx} = \frac{u\sqrt{u^2 + v^2}}{k^2 h^{\frac{4}{3}}} \qquad S_{fy} = \frac{v\sqrt{u^2 + v^2}}{k^2 h^{\frac{4}{3}}} \tag{3}$$

Para la construcción del modelo se han empleados las siguientes condiciones de contorno:

Todos los hidrogramas representados anteriormente se han introducido en el modelo a través de un "Nudo de avenida (o "Source point"). Dichos hidrogramas han sido calculados considerando, para el fenómeno de transformación lluvia-escorrentía, la aproximación de la onda cinemática. Los hidrogramas de entrada se han localizado en una celda aguas arriba de la entrada a la zona de la balsa.

Para la caracterización de los límites del dominio, se ha considerado la solución de "Paredes verticales no porosas" para los edificios presentes y la condición de "Condiciones críticas" para las celdas extremas.

El dominio analizado para la simulación 2D ha interesado una superficie de 5.9 Km^2, con celdas triangulares de varios tamaños con superficies entre 100 y 5 m^2. El coeficiente de rugosidad de Manning utilizado para las celdas ha sido 0.02 $s \cdot m^{-1/3}$ (Strickler 50 $m^{1/3} \cdot s^{-1}$).

3.5 Información cartográfica y Modelos Digitales del Terreno

La información cartográfica utilizada para la creación de los Modelos Digitales del Terreno (MDT) ha sido, en parte, proporcionada por la propia Entitat Metropolitana de Serveis Hidráulics i Tractament de Residus de Barcelona, (restitución topográfica a escala 1:1000 de todo el dominio analizado) y por otro lado se ha realizado un levantamiento topográfico de detalle específico de la zona del vaso de la balsa a escala 1:500. Finalmente la información obtenida (curvas de nivel con paso de 1 metro y taquimétrico de las zonas de análisis) ha sido utilizada en el código Infoworks, para la realización de dos diferentes Modelos Digitales del Terreno (Figura 7):

MDT relativo a la situación actual (escenario de diagnosis);

MDT relativo al escenario con vaso y dique de cierre realizados (escenarios de prognosis).

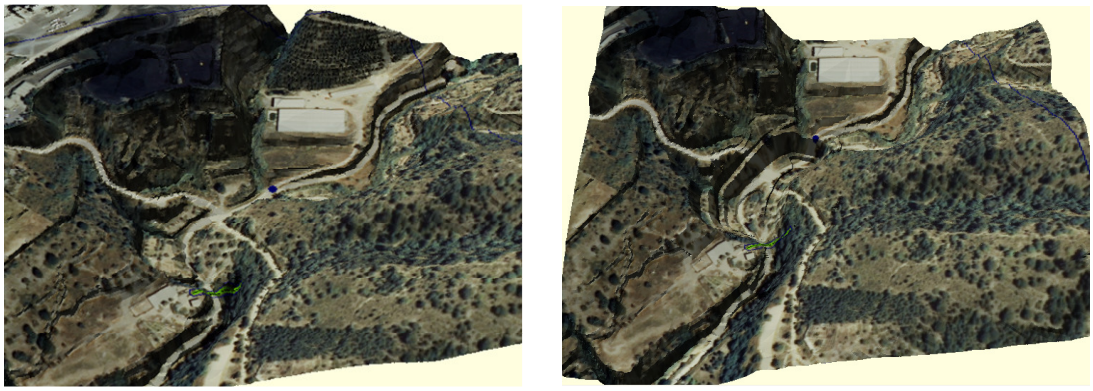

Figura 7 *A la izquierda: vista en 3D de la zona de construcción de la balsa considerando el MDT relativo a la situación actual. A la derecha vista de la misma zona con MDT relativo a la situación con vaso y dique realizados*

4 Análisis de resultados y conclusiones

4.1 Criterios de riesgo utilizados

Las simulaciones del flujo en dos dimensiones permiten calcular localmente todos los parámetros del flujo (caudal, calado, velocidad, número de Froude, etc.). En un estudio de inundabilidad como este, es interesante en primer lugar, conocer las áreas inundadas asociadas al evento considerado, pero de acuerdo con algunos criterios de seguridad asociados al flujo en zonas inundables, también es posible utilizar los resultados de simulaciones en dos dimensiones para hacer una evaluación del riesgo a través de la creación de mapas de peligrosidad ("hazard maps").

En España es habitual utilizar los criterios de riesgo de Témez (Témez, 1992). Los criterios de Témez se pueden resumir en la siguiente gráfica (Figura 8).

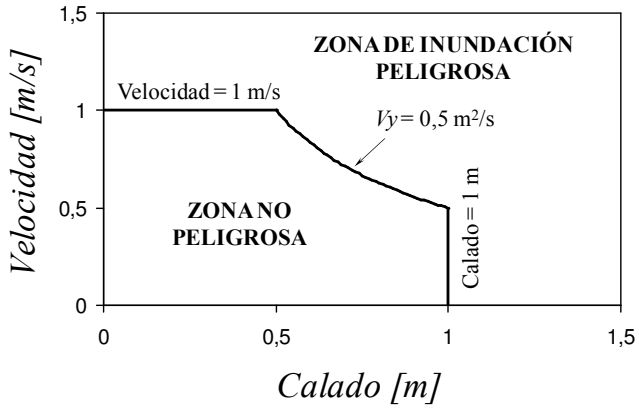

Figura 8 *Criterios de riesgo para zonas inundables según Témez*

Sin embargo el criterio de velocidad máxima de 1.0 m/s propuesto por Témez, aparece demasiado restrictivo a la hora de evaluar este parámetro en zonas urbanas cuyas superficies presentan generalmente bajos coeficientes de rugosidad. Por esta razón, en este estudio se ha utilizado el criterio de riesgo relativo a velocidad máxima propuesto por el Agricultural and Resource Management Council of Australia and New Zeland (ARMC, 2000) (velocidad máxima igual a 1.5 m/s), resultando, finalmente, los criterios de evaluación del riesgo en:

- Calado máximo: 1 m
- Velocidad máxima: 1.5 m/s

4.2 Mapas de peligrosidad ("hazard maps")

De acuerdo con los criterios de riesgo anteriores, se han analizado los escenarios de diagnosis (situación actual) y de prognosis (rotura del dique), presentados en la Tabla 2. Para cada simulación se han elaborado 2 mapas de peligrosidad ("hazard maps") en función de los criterios de riesgo utilizados.

En la Figura 9 se presentan los mapas de peligrosidad relativos al criterio de máxima velocidad para los escenarios B (situación actual y avenida con periodo de retorno de 500 años) y D (situación de tránsito de la avenida con periodo de retorno de 500 años y rotura inmediata del dique de gravedad en el instante en que la cota de lámina de agua alcanza la cresta del aliviadero). Como se puede observar en la Figura 9, a lo largo de la riera se encuentran muchas edificaciones, por lo cual el contexto de afección es de "núcleo urbano" según la definiciones contenidas en la guía técnica. Los mapas de riesgo asociados a las velocidades muestran que en muchos tramos se supera el valor límite considerado (zonas en rojo). A través de un análisis comparativo entre los escenarios B y D se puede observar que no se aprecian incrementos de riesgo debidos a una eventual rotura del dique de la balsa. Al revés, en algunos casos, el escenario D resultaría más favorable que el escenario B. También se puede observar que muchas calles urbanas y viviendas se verían afectadas por el tránsito de la avenida considerada en la situación actual y por la onda provocada por la rotura instantánea del dique.

Otro escenario interesante que la Guía Técnica obliga a tratar es el escenario de rotura de la balsa cuando esa se encuentra en su máximo nivel de explotación. Aunque el nivel habitual de la balsa objeto de este estudio es nulo (su función es únicamente la de laminación de avenidas) se ha estudiado este escenario y en la Figura 10 se presentan los mapas de peligrosidad relativos a velocidades y calados máximos. En este caso se puede observar que la rotura del dique con embalse lleno no comportaría significativas situaciones de riesgo en la zona urbana, concentrándose estas situaciones sobretodo en la zona periurbana del cauce aguas arriba de la obra de captación anteriormente citada. El mapa de velocidades máximas es otra vez más restrictivo que el de calados máximos.

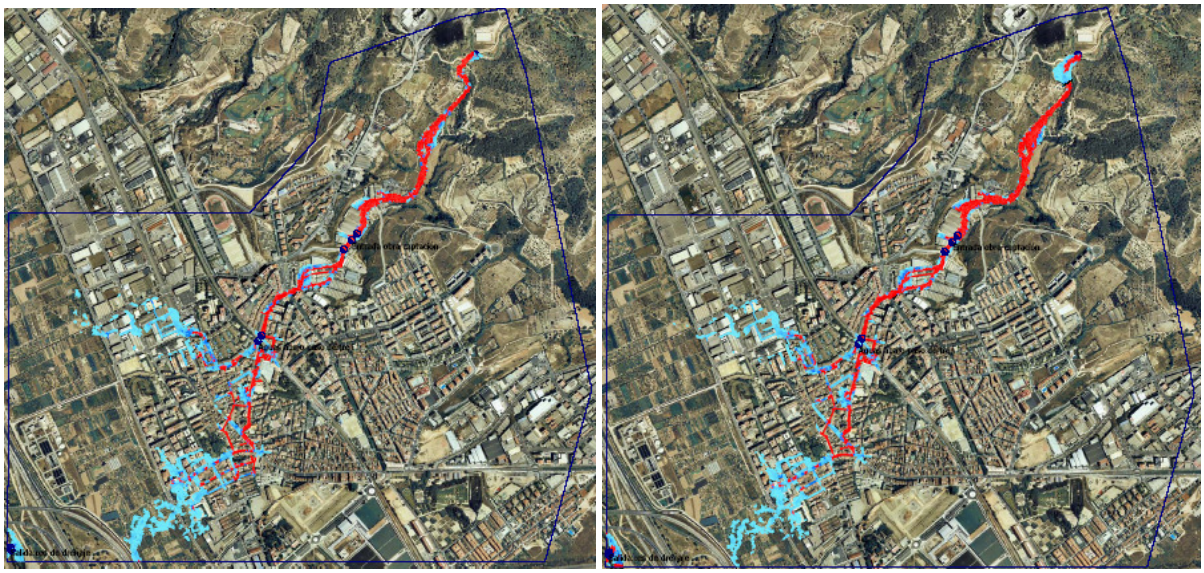

Figura 9 Mapas de peligrosidad para los escenarios B (a la izquierda) y D (a la derecha).En rojo las celdas con valores de velocidad máxima superiores al límite de 1.5 m/s, en escala de azules las celdas con valores de velocidad máxima inferior al límite de 1.5 m/s

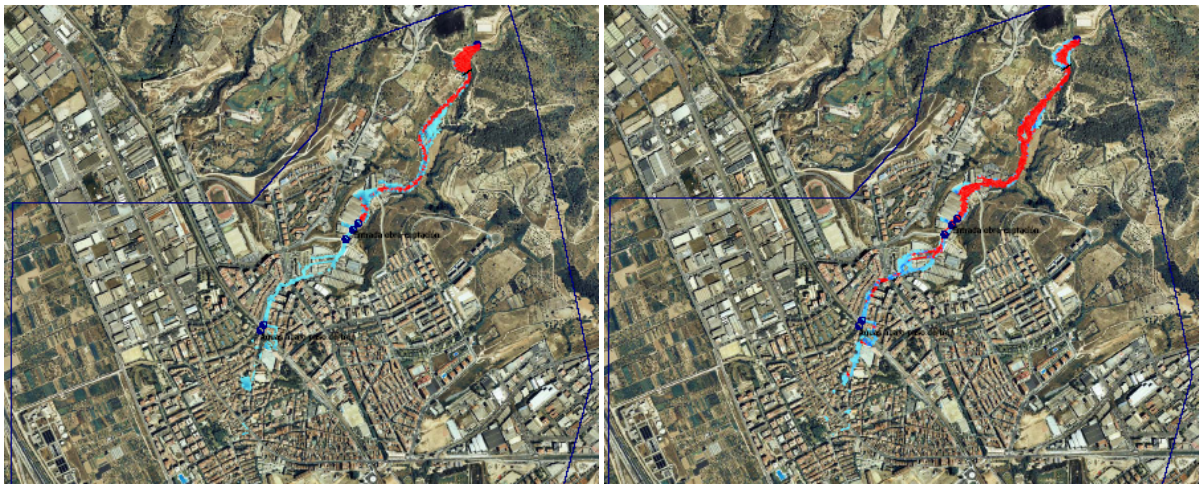

Figura 10 *Mapas de peligrosidad para el escenario E. A la izquierda mapa de peligrosidad relativo a los calados máximos. A la derecha mapa de peligrosidad relativo a velocidades máximas. En rojo se representan las celdas con valores superiores a los límites establecidos, en escala de azules las celdas con valores de parámetros del flujo inferiores a dichos límites*

4.3 Conclusiones

En este artículo se presentan los resultados de análisis bidimensional de varios escenarios (estudios de situación actual, de rotura del dique frente a diferentes avenidas, del funcionamiento del dique rente a avenidas extraordinarias, etc.).

El análisis bidimensional del dominio permite calcular localmente los parámetros del flujo y, sobre la base de la envolvente de los valores máximos, crear mapas de peligrosidad en función de criterios de riesgo preestablecidos. Además estudios bidimensionales del tránsito de avenidas por cauces y llanuras de inundación pueden representar una innovadora solución para clasificar balsas y presas en función del riego potencial debido a rotura de diques.

En este trabajo se ha utilizado la nueva versión (10.0) del software Infoworks RS que dispone de un Sistema de Información Geográfico integrado (SIG), un módulo para el cálculo en dos dimensiones del tránsito de avenidas, y finalmente, un módulo específico de rotura de diques.

5 Referencias bibliográficas

Agricultural and Resource Management Council of Australia and New Zealand, 2000. Floodplain Management in Australia. Best Practice Principles and Guidelines. SCARM Report 73, CSIRO Publishing.

Ministerio de Justicia e Interior, 1996. Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones, Boletín Oficial del Estado, 14 de febrero, 1996.

Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, 1996. Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalse. Boletín Oficial del Estado, 30 de marzo, 1996.

Ministerio de Medio Ambiente 1996. Clasificación de presas en función del riesgo potencial, Guía Técnica. Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de Aguas.

Témez Peláez J. R., 1992. Control del desarrollo urbano en las zonas inundables. CICCP monographs. Madrid, España.

Wallingford Software, 2009. Infoworks River System, Version 10.0. Manual de usuario. Reino Unido